

文章编号:1674-7607(2010)04-0281-03

中图分类号:TG115.21

文献标识码:A

学科分类号:430.40

不同状态下 S30432 钢析出相的分析

王苗苗, 朱毕焱

(上海发电设备成套设计研究院, 上海 200240)

摘要: 采用光学显微镜、扫描电镜及透射电镜等分析手段, 研究了 S30432 钢在不同状态下的析出相。结果表明: 持久试验和实际运行后材料中的析出相较多, 其中富 Cu 相和 NbC(N) 析出相颗粒尺寸较小, 长大不明显; Cr_{23}C_6 相和一次析出相 NbC(N) 数量较多, 长大明显, 其中 Cr_{23}C_6 相沿晶界析出, 使晶界强度降低, 而异常粗大的一次析出相 NbC(N) 颗粒导致钢管使用性能降低, 甚至影响 S30432 钢管的长期、安全和稳定运行。

关键词: S30432 钢管; 析出相; 失效; 爆管

Analysis on Precipitates in S30432 Steel Tubes at Different States

WANG Miao-miao, ZHU Bi-yan

(Shanghai Power Equipment Research Institute, Shanghai 200240, China)

Abstract: Precipitates in S30432 steel tubes that had respectively experienced creep-rupture test and actual service operation were analyzed by ways of optical microscopy(OM), scanning electron microscopy(SEM) and transmission electron microscopy(TEM). Results show that a variety of precipitates will form in S30432 steel tubes at above two different states, in which, relatively small Cu-rich and NbC(N) particles, more and coarse Cr_{23}C_6 and primitive NbC(N) precipitates, are to be observed. Precipitation of Cr_{23}C_6 along grain-boundary will weaken the strength of the boundary, while coarse primitive NbC(N) particles worsen service properties of the tube, which may even effect safety and stable operation of S30432 tubes.

Key words: S30432 steel tube; precipitate; failure; tube burst

上世纪八九十年代, 日本在 ASTM S213 TP 304H 钢管的基础上, 开发了一种新型的 18-8 型奥氏体不锈钢。该钢种不仅具有较好的高温强度和高温抗氧化性能, 而且不含昂贵的 Mo、V 等贵金属元素, 制造成本比 ASTM S213 TP 304H 钢管更低。此钢种开发后在日本电站锅炉过热器和再热器部件上的应用时间已超过 10 年, 显示出其良好的综合性能。目前, 该钢已被列入 ASTM A213M 标准, 代号为 S30432。国内则在最近几年才开始将 S30432 钢管

应用在超(超)临界锅炉过热器和再热器上^[1-3]。

国内某电站锅炉高温过热器管选用 S30432 管材, 但该过热器管仅运行约 1 590 h 就发生了爆管。本文对此高温过热器爆管及持久试验管材进行了组织及析出物的对比分析, 以探寻材料在服役过程中组织与析出物的变化及其对性能的影响。

1 试验材料

选取 2 种 S30432 钢管, 其中 1 号钢管为进口材

收稿日期: 2009-11-23 修订日期: 2009-12-14

基金项目: 上海市科委国产 ASTM A213M S30432 钢管长时组织与持久性能研究资助项目(09521101200)

作者简介: 王苗苗(1981-), 女, 河北保定人, 助理工程师, 硕士, 主要从事金属材料方面的研究。电话(Tel.): 13917874320;

E-mail: wangmiaomiao@speri.com.cn.

料,取自国内某电站锅炉过热器爆管试样,该过热器的设计蒸汽温度为 605 ℃,正常工作状态下其管壁温度约为 650 ℃,满负荷条件下过热器出口压力为 26.15 MPa,管壁实际承受应力为 63.63 MPa,管子运行时间约为 1 590 h,经上海发电设备成套设计研究院分析,该管子属于过热器超温蠕变爆管. 2 号钢

管为国产材料,取自高温持久断裂试验管材,试验温度为 650 ℃,试验应力为 200 MPa,断裂时间为 2004.2 h. 表 1 给出了上述 2 种试验材料的化学成分. 从表 1 可知:2 种钢材的成分均符合 ASME Code Case 2328-1 要求.

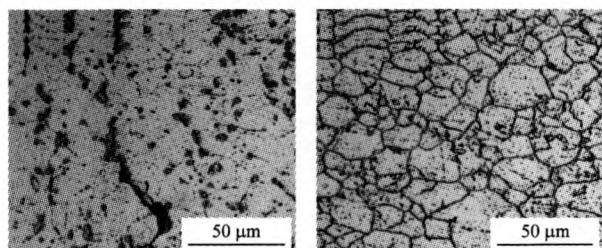
表 1 2 种试验钢材的化学成分
Tab. 1 Chemical composition of two test samples

试 样	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Cu	Nb	N	B	Al
1 号钢材	0.087	0.244	0.815	0.030	0.002	18.28	8.53	2.849	0.564	0.112	0.0018	0.019
2 号钢材	0.080	0.220	0.860	0.019	0.001	18.40	8.96	2.850	0.520	0.098	0.0030	0.012
ASME Code	0.070~					17.00~	7.50~	2.500~	0.300~	0.050~	0.0010~	0.003~
Case 2328-1	0.130	≤0.300	≤1.000	≤0.040	≤0.010	19.00	10.50	3.500	0.600	0.120	0.0100	0.030

2 组织与析出相的变化

2.1 金相组织分析

图 1 为 2 种钢材的金相组织. 由图 1 可知:2 种钢材的金相组织均为奥氏体,晶粒度等级分别为:1 号钢材 7.5 级;2 号钢材 9 级. 2 种钢材的金相组织中均有非常粗大的析出物,不同的是 1 号钢材中的析出现象较严重,已经形成蠕变裂纹,晶界结合程度也较差,而 2 号钢材虽然晶粒较细小,但其晶粒上也分布有一些粗大的颗粒,部分呈条带状分布,对材料的使用性能会产生不利的影响.



(a) 1 号钢材 (b) 2 号钢材

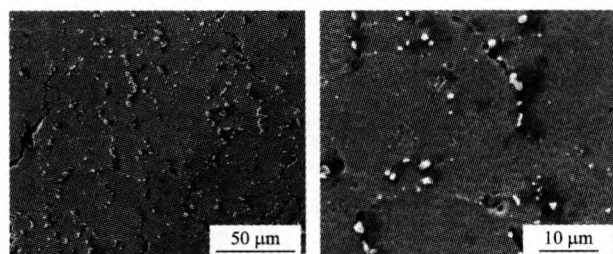
图 1 2 种钢材试样的金相组织

Fig. 1 Microstructure of two test samples

2.2 析出相分析

材料在高温服役过程中会析出细小弥散的颗粒,并且随着时间的延续逐渐长大. 图 2 为 1 号钢材试样的显微组织. 从图 2 可看出:在 1 号钢材试样的显微组织中,不仅析出相数量较多,而且尺寸较大,尤其在晶界处析出相颗粒长大非常明显. 这种现象在钢管爆口处最为严重,在部分析出相颗粒的边缘已经形成蠕变裂纹. 图 3 为 1 号钢材试样中的析出相. 从图 3 可观察到析出相主要有 4 类:① 一次析出相 NbC(N),它在固溶过程中未能完全固溶到基体中,如图 3(a)中较大的黑色颗粒,这些一次析出

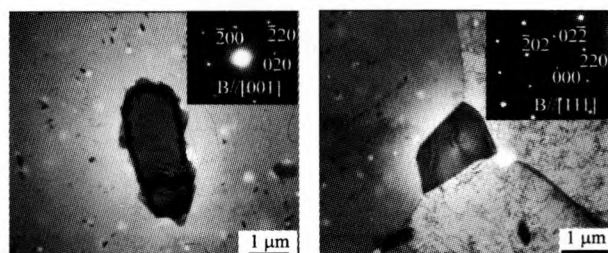
相尺寸较大,个别颗粒的尺寸可达 3 μm 左右;② 数量相当多的 Cr₂₃C₆ 相,如图 3(b)中的灰色大颗粒,主要在晶界上析出,长度可达 4 μm 左右;③ 在晶内析出的 NbC(N)颗粒,这种颗粒不同于一次析出相,其尺寸较小,平均尺寸约为数十 nm,如图 3(a)中细小的黑色颗粒;④ 在晶内弥散析出的细小富 Cu 相颗粒,如图 3(a)中白色细小的颗粒,平均尺寸不足 10 nm,其对位错钉扎的能力较强,强化作用较好.



(a) 50 μm (b) 10 μm

图 2 1 号钢材试样的显微组织

Fig. 2 Microstructure of test sample No. 1



(a) 细小黑色颗粒 (b) 灰色大颗粒

图 3 1 号钢材试样中的析出相

Fig. 3 Precipitates in test sample No. 1

从图 2 和图 3 可看出:富 Cu 相颗粒尺寸稳定性较好,在析出后长大不明显,而其他析出相颗粒则大小不一,尤以 Cr₂₃C₆ 相和一次析出相 NbC(N)最为严重. 由于一次析出相 NbC(N)非常粗大,不仅没有达到强化效果,而且还为 Cr₂₃C₆ 颗粒的析出提供

了界面。

图4和图5为2号钢材试样的显微组织与析出相形貌。从图中可观察到与1号钢材试样相似的现象:一次析出相 NbC(N)非常粗大(图5(a)中较大的棒状颗粒)、 Cr_{23}C_6 相大多在晶界上析出呈链状分布(图5(b)中链状颗粒)、富Cu的强化相在晶内弥散析出(图5(c)中细小的白色颗粒)、较小的析出相 NbC(N)颗粒长大较慢(图5(c)中稍大的灰色颗粒)。

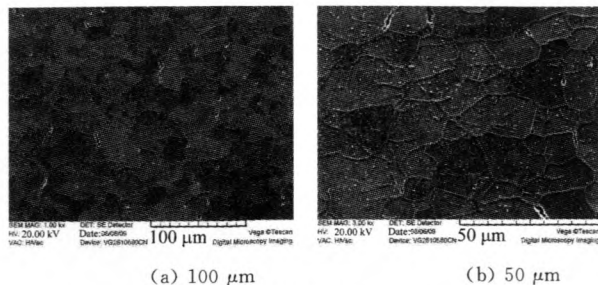


图4 2号钢材试样的显微组织

Fig. 4 Microstructure of test sample No. 2

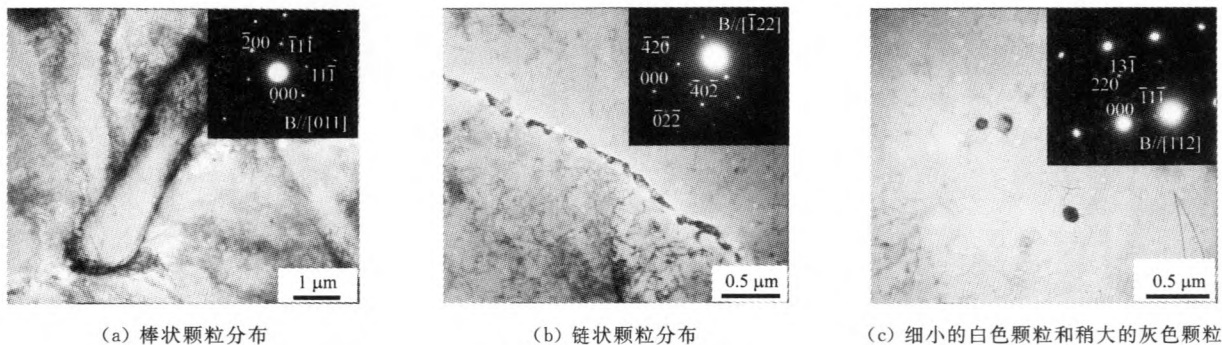


图5 2号钢材试样的析出相

Fig. 5 Precipitates in test sample No. 2

3 分析与讨论

S30432 钢管在 ASME SA-213 TP 304H 钢的基础上,降低 Mn 含量上限,加入约 3%Cu、0.45%Nb 和微量 N,这些合金元素在固溶时完全溶解,时效过程中不断在晶内析出细小、弥散的富 Cu 相颗粒、NbC(N)、NbCrN 和 Cr_{23}C_6 ,从而获得良好的强化效果,提高了材料的持久强度、持久塑性、韧性及抗腐蚀性能,使其能在更高的许用应力下使用^[4-6]。

通过对国产和进口的 2 种钢管分析发现:2 种钢材中均存在较为粗大的一次析出相 NbC(N),这说明 S30432 钢管在制管过程中的高温软化温度不足,一次析出相 NbC(N)未能完全溶解。由于一次析出相 NbC(N)的溶解温度一般均高于 1 200 °C,如不能在高温软化过程中溶解,则在后续的工艺过程中将无法消除,进而形成成品钢管组织中粗大的一次析出相颗粒。这种粗大的一次析出相 NbC(N)不仅没有起到强化基体的作用,反而减少了基体中的固溶强化元素,因此影响 S30432 钢的沉淀析出强化效果,而且还为 Cr_{23}C_6 相的析出提供了界面,容易形成蠕变孔洞,对材料的使用性能影响较大。因此,笔者建议在生产制造 S30432 钢管过程中改进工艺,尽量避免或减少上述情况的出现。

另外,从图4和图5还发现:S30432钢中存在较多尺寸较大的 Cr_{23}C_6 相,并呈链状分布在晶界上,这在很大程度上削弱了晶界强度,为蠕变孔洞的萌

生提供了条件。随着服役时间的延长,在应力作用下蠕变孔洞逐渐形成蠕变裂纹,产生了大量的沿晶(微)裂纹,严重影响到钢材的使用寿命;细小的 NbC(N)颗粒长大缓慢,起到了一定的强化作用;而富 Cu 相颗粒细小弥散,尺寸变化不明显,其钉扎和强化作用最好。

4 结论

在本文研究与分析的钢管中,存在较为粗大的一次析出相 NbC(N)颗粒,导致钢管使用性能降低。如果材料的这种缺陷普遍存在,则可能会影响到 S30432 钢管的长期、安全和稳定运行。

参考文献:

- [1] 杨华春. 日本 SUPER 304H 奥氏体不锈钢锅炉管评价[J]. 东方锅炉, 2003(2):13-24.
- [2] 林富生. 超超临界参数机组材料国产化对策[J]. 动力工程, 2004, 24(3):311-316.
- [3] 缪筱玲, 王鹏展. 超(超)临界锅炉用钢管 SUPER 304H 与 XA704 性能特点评价[J]. 东方电气评论, 2006, 20(3):31-36.
- [4] 周顺深. 低合金耐热钢[M]. 上海:上海人民出版社, 1976.
- [5] 孙叶柱. 用于超超临界锅炉的 Super 304H 材料的性能[J]. 电力建设, 2003, 24(9):11-14.
- [6] 肖纪美. 不锈钢的金属学问题[M]. 北京:冶金工业出版社, 1983.